

動力学モデルを用いた地下街における避難行動シミュレーション

九州大学大学院 学 ○井上 裕章 正 善 功企
 同上 正 陳 光斉 正 笠間 清伸

1. はじめに

災害時における人間の避難行動は、動力的観点からアプローチすることができ、これまで個別要素法 (DEM)を用いた力学モデル¹⁾など、多くの避難行動モデルが提案されている。

本文では、避難行動をより現実的にシミュレーションできるシステムの開発を目的として、避難時の人間行動をマニフォールドメソッド(MM)でモデル化し、福岡市天神地下街を対象とした避難シミュレーションを行い、現行の避難計画の指針である「新・建築防災計画指針」²⁾を用いた結果と比較した。

2. 動力学モデルの避難行動解析への適用

平常環境において人間が全力前進する場合、速度の変化パターンは、図-1(a)のように、加速期・全速期・減速期とに分けられる。一方、避難環境における走行速度の変化は、経路中にある障害や周囲の環境、心理的变化の影響等により、図-1(b)のような複雑な曲線になる。この速度変化を表す影響要因を、避難環境における抵抗関数 $f(K_n)$ を用いて、式(1)に示す微分方程式に導入することにより、避難行動を動力的にモデル化することができる。

$$\frac{d^2\vec{u}}{dt^2} + k_0 \frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{G}_0 + \sum \vec{f}_n(t)/m = f(K_n) \cdot \vec{G}_0 \quad (1)$$

ここで、 G_0 :全力走行時加速度(m/s²)、 k_0 :抵抗係数(1/s)、 $K_n (=v/v_{max})$:各避難環境における影響係数(値が大きいくほど v_{max} に近い走行が可能であることを示す)である。

また、今回の解析方法として用いたマニフォールドメソッド (MM)とは、有限要素法(FEM)と不連続変形法(DDA)の両方の特性を有する解析手法である。

3. 解析概要

3.1 解析対象モデル

図-2に、今回解析対象とした、福岡市天神地下街のモデル図を示す。図中の数字は、地下街からの出口(31ヵ所)を示しており、店舗数は104である。「新・建築防災計画指針」との比較を行うため、避難対象人数は、指針中の算定基準密度(飲食店舗;0.7人/m², 売場;0.5人/m²)に各室の面積を乗じて算出した。この算定密度に従った場合の天神地下街避難者総数は3538人である。また、避難者全員が最短避難経路を選択したものとし、避難者が地下街から脱出するまで、すなわち階段室に逃げ込むまでを避難行動とした。今回は、(i)動力学モデルを用いた避難者の属性を考慮した場合と、(ii)指針に沿った避難者の属性を考慮しない場合(速度一定;1.0m/sec)を、比較検討した。ここでいう属性とは、性別および年齢に関して、避難速度を基準に分類したものを指す。なお、動力学モデルを用いる際に基準にした、一般人(中学生~50代)男性の全力走行時速度 v_{max} は、避難行動を対象とした各種走行実験³⁾の結果より、 $v_{max} = 7.69(m/sec)$ を用いた。

3.2 避難環境における影響係数 K_n の決定

影響係数 K_n として、①避難者の属性、②避難領域、③群集の密度、の3つを取り入れた。

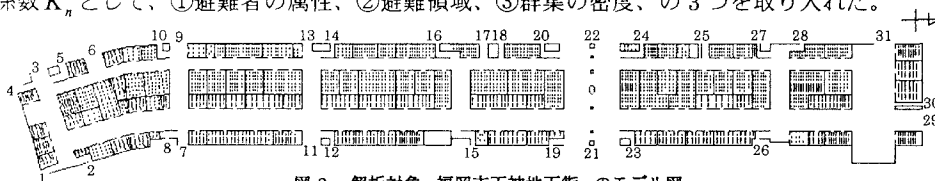
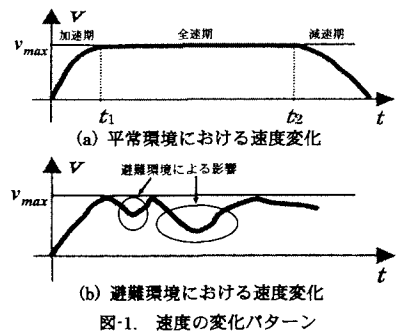


図-2. 解析対象・福岡市天神地下街のモデル図



①に関して、属性に応じた歩行速度 v を参考に、一般成人(中学生～50代)男性の速度を基準にし、また、地下街という避難空間を考慮すると(平常環境の52.6%の走行速度)、影響係数 K_1 が表-1 のようになる。②に関して、避難行動を対象とした各種走行実験³⁾より得られた影響係数 K_2 を、表-2 に示す。また、③に関しては、買物群集の両方向群集密度 ρ (人/m²) と歩行速度 v (m/sec) を測定した結果 ($v=1.269 \times 10^{-0.222\rho}$)⁴⁾を用いて、影響係数 K_3 は、 $K_3=10^{-0.222\rho}$ と決定した。

3.3 避難者の属性別割合

避難対象とした天神地下街について、(財)福岡都市科学研究所が行った利用実態調査の結果⁵⁾より、利用者の属性が、表-3 のように分類される。天神地下街の店舗は、大きく6種類に分けられるが、店舗の種類に応じて表-4 のように、属性別の人数を変化させて解析を行った。

4. 解析結果および考察

出口15(避難者数221人)における、属性を考慮した場合(case(i))と、属性を考慮しない場合(case(ii))の、15秒後および30秒後の避難行動の様子を図-3(a),(b)に、また、滞留密度の比較を図-4に示している。なお、図-4中の丸囲み数字は、最初の避難完了者と最後の避難完了者の属性を、表-3中に示した丸囲み数字で表している。出口15において、case(ii)における最後の避難完了者の

避難時間が60.55(sec)であるのに対して、case(i)における最後の避難完了者の避難時間は30.71(sec)と、case(ii)に比べて約半分の時間で避難が完了している。また、case(i)では、出口付近の平均滞留密度が約2.0人/m²、最大滞留密度が約5.5人/m²と、かなり高密度で、停止に近い状態になっている。これは、属性による避難速度の違いが、群集走行における追い越しを発生させ、階段口への到着時刻を集中させたためである。さらに、属性別避難者の初期配置はランダムに与えたにもかかわらず、避難速度が早い属性(中学生～50代)が最初に避難し、避難速度が遅い属性(60代以上)が最後に避難を完了している。このことから、属性別の避難速度の影響がうまく表現されていることがわかる。

5. おわりに

避難者の属性、避難領域および群集の密度を、避難環境における速度変化の影響要因として、微分方程式に導入することにより、避難行動を動力的にモデル化した。また、福岡市天神地下街を対象として、動力学モデルを用いた避難者の属性を考慮した場合と、現行の指針に沿った避難者の属性を考慮しない場合の、避難時間および出口付近における滞留密度に関する比較を行った。属性別に異なる避難速度を与えることで、出口における避難者の集結時刻が集中し、避難時間が短縮するという結果を得た。

今後は、経路選択に関する要因や、人間同士の衝突による転倒機能を考慮に入れるとともに、属性の構成や初期配置を変化させた多数のシミュレーションを行い、その平均的な傾向を検討する必要がある。

《参考文献》 1) 清野純史ら：避難行動シミュレーションに基づく地下街の安全性評価，土木学会論文集，No.689/I-57，pp.31-43，2001。
2) 新・建築防災計画指針－建築物の防火・避難計画の解説書－，日本建築センター，1995。 3) 井上裕章ら：階層構造物における動力学モデルに基づいた避難行動実験，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集，DISC2/pp.609-610，2002。 4) 岡田光正ら：建築と都市の人間工学，pp.36-37，鹿島出版会，1977。 5) 福岡の地下空間の利用に関する研究－報告書－，財団法人 福岡都市科学研究所，2001。

表-1. 避難者の属性に関する影響係数 K_1

| 属性 | 男性 | 女性 |
|---------|-------|-------|
| 小学生以下 | 0.368 | 0.395 |
| 中学生～50代 | 0.526 | 0.447 |
| 60代以上 | 0.431 | 0.379 |

表-2. 領域に関する影響係数 K_2

| 領域 | |
|--------------------------------|-------|
| 一般階段($\theta=29^\circ$) (上り) | 0.410 |
| 廊下～階段の踊り場 (上り) | 0.469 |

表-3. 天神地下街における属性別割合

| 属性 | 男性 | 女性 |
|---------|-----------|-----------|
| 小学生以下 | ① : 0 | ② : 0 |
| 中学生～50代 | ③ : 0.296 | ④ : 0.465 |
| 60代以上 | ⑤ : 0.093 | ⑥ : 0.146 |

表-4. 避難者の属性別人数

| | 変更前 | | 変更後 | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 男性(人) | 女性(人) | 男性(人) | 女性(人) |
| 避難者総数 | 3538 | 3538 | 31 | 50 |
| 小学生以下 | 0 | 0 | 31 | 50 |
| 中学生～50代 | 1053 | 1628 | 668 | 1932 |
| 60代以上 | 338 | 519 | 220 | 637 |

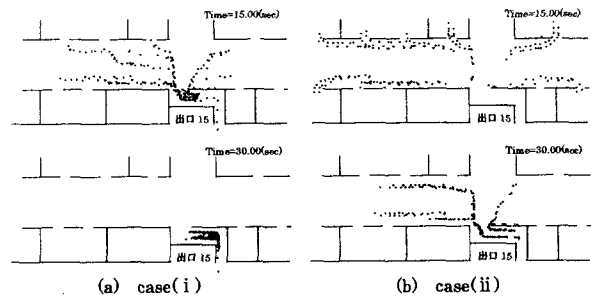


図-3. 出口15における避難行動の比較

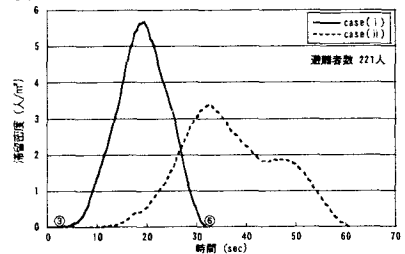


図-4. 出口15における滞留密度の比較

避難者数 221人